

Pomiary odkształceń miarą oceny stanu geometrycznego i poprawności łożyskowania wielkogabarytowych wałów korbowych

Measurements of deformation as a measure of geometric state and corectness of bearing for the extralarge crankshaft

KRZYSZTOF NOZDRZYKOWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.496

W artykule przedstawiono przegląd metod pomiaru odkształceń ramion wykorbień, w oparciu o które dokonuje się oceny stanu geometrycznego wielkogabarytowych wałów korbowych na etapie wytwarzania, jak również oceny stanu łożyskowania wałów dokonywanej okresowo w trakcie eksploatacji silnika. Zaprezentowano też nową koncepcję tzw. symetrycznego pomiaru odkształceń ramion wykorbień, eliminującą szereg niedogodności wynikających z obecnie stosowanych metod pomiaru. **SŁOWA KLUCZOWE:** pomiary odkształceń, wały korbowe, ocena stanu geometrycznego

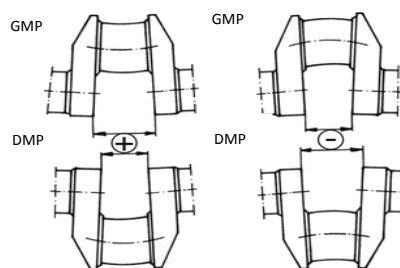
The paper shows review of measurement methods of crank web deformation, basing on which shall assess the geometric state extralarge crankshafts on the stage of production as well as periodic evaluation of crankshaft bearings during engine exploitation. The new concept of so called symmetric measurement of crank arms deformation, which eliminates several disadvantages resulting from the currently applied methods of measurement.

KEYWORDS: deformation measurements, crankshafts, evaluation of geometrical state

W budowie maszyn specyficzną grupę elementów stanowią elementy wielkogabarytowe. Specyfika ta zawarta jest w ich wymiarach, konstrukcji i właściwościach różniących je zasadniczo od elementów maszyn o niewielkich gabarytach. Duże masy, wymiary i złożona dość często geometria powodują, że zastosowanie dostępnej aparatury i oprzyrządowania pomiarowego dla tego typu elementów maszyn jest znacznie ograniczone. To sprawia że obszar działalności metrologicznej obejmujący pomiary elementów wielkogabarytowych ogranicza się głównie do stosowania uniwersalnego sprzętu pomiarowego, którego dokładność jest niedostosowana do rosnących dokładności wykonania stawianym produkowanym elementom maszyn. Spośród grupy elementów wielkogabarytowych na szczególne wyróżnienie zasługują elementy wiotkie, o stosunkowo małych wymiarach przekroju poprzecznego do ich długości. Właściwość ta znacznie utrudnia pomiary jak również ich interpretację, z uwagi na to, że wyniki pomiarów są dość często zniekształcone odkształceniami sprężystymi obiektu mierzonego. W odniesieniu do wielkogabarytowych wałów korbowych właściwość ta stosowana jest jednak powszechnie do oceny stanu geometrycznego wałów na etapie ich wytwarzania, jak również do oceny poprawności łożyskowania wałów w korpusie, dokonywanej okresowo w trakcie eksploatacji silnika [1, 2].

Pomiary odkształceń wałów korbowych

Pomiary odkształceń, nazywane popularnie pomiarami sprężynowania, realizowane są najczęściej za pomocą czujnika przemieszczeń montowanego pomiędzy poszczególnymi wykorbieniami wału. Czujnik w oprawce za pośrednictwem kłków osadzony jest w nawierceniach (wykonanych wcześniej w tym celu przez producentów wałów) na wewnętrznych stronach ramion wykorbień. Jako miarę sprężynowania, określanego w płaszczyźnie pionowej i poziomej, przyjmuje się różnicę wskazań czujnika w dwóch wzajemnie skrajnych przeciwnych położeniach wykorbień wału podczas jego obrotu (rys. 1). Są to położenia dla płaszczyzny pionowej określane jako GMP (górne maksymalne położenie) oraz DMP (dolne maksymalne położenie). Dla płaszczyzny poziomej są to odpowiednio położenia PB (prawa burta) oraz LB (lewa burta).



Rys. 1. Przykłady różnych stanów deformacji wykorbień wału

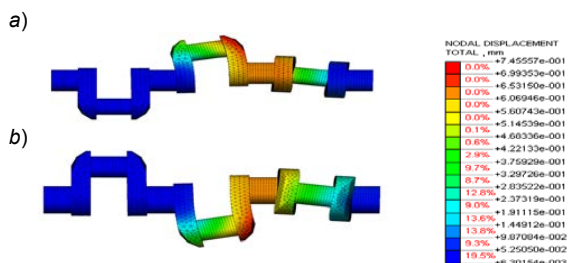
Założeniem podstawowym przy tego typu pomiarach jest przyjęcie, że odkształcenia ramion wykorbień jest symetryczne względem osi symetrii wykorbień [1, 2, 5]. Założenie to wynika z warunków i sposobu realizacji pomiarów. Konsekwencją tego założenia jest interpretacja wyników pomiarów sprężynowania, zalecająca w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości sprężynowania podniesienie lub obniżenie osi łożysk głównych sąsiadujących z danym wykorbieniem o połowę zmierzonej wartości sprężynowania [5, 6]. Należy również podkreślić, że pomiar taki charakteryzuje się brakiem stałości bazy pomiarowej, która przemieszcza się w sposób niekontrolowany podczas ich realizacji. Nie jest brane pod uwagę, że przyczyną odkształceń może być pogarszający się stan tylko jednego łożyska sąsiadującego z wykorbieniem. Trudne do zinterpretowania jest też, jaki wpływ na mierzoną wartość sprężynowania ma wzajemne oddziaływanie odkształconych w różnym stopniu wykorbień. Stan ten prowadzi do tego, że wyniki pomiarów są często źle interpretowane.

Potwierdzeniem wymienionych wcześniej spostrzeżeń są wyniki badań symulacyjnych odkształceń wału korbowego po wprowadzeniu możliwych do wystąpienia niedokładności w łożyskowaniu jego czopów głównych, takich jak

* Dr hab. inż. Krzysztof Nozdrzykowski prof. AM w Szczecinie (k.nozdrzykowski@am.szczecin.pl) – Wydział Mechaniczny Akademii Morskiej w Szczecinie

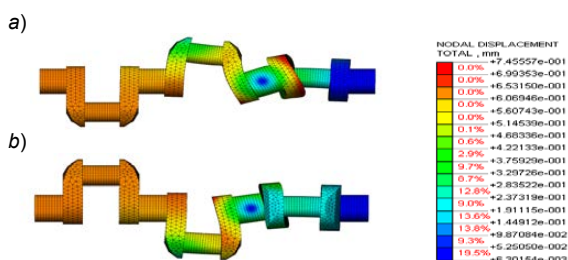
niewspółosiowość i nierównoległość. Badania symulacyjne przeprowadzono z zastosowaniem programu obliczeń wytrzymałościowych Nastran FX 2010.

Analiza wyników badań wykazała, że możliwości wykrywania odkształceń wału metodą tradycyjną są w niektórych sytuacjach ograniczone [3]. Taka sytuacja występuje np. gdy osie czopów głównych są przesunięte równolegle względem siebie (jedno- lub obustronne przesunięcie osi, jednostronne jednokierunkowe przekoszenie osi).



Rys. 2. Odształcenia fragmentu wału dla przypadku kiedy oś jednego z czopów głównych jest przesunięta względem pozostałych – wykorbienie środkowe w położeniu: a) GMP, b) DMP

Jak uwidoczniło na rys. 2, nawet znacznemu przesunięciu osi (przyjęto 0,3 mm) odpowiada niewielka mierzalna w rzeczywistości wartość sprężynowania. Istotne różnice mierzalnych odkształceń ramion wykorbień występują natomiast w przypadku symetrycznego lub niesymetrycznego przekoszenia osi rys. 3.



Rys. 3. Odształcenia fragmentu wału dla przypadku kiedy oś jednego z czopów głównych jest przekoszona względem pozostałych – wykorbienie środkowe w położeniu: a) GMP, b) DMP

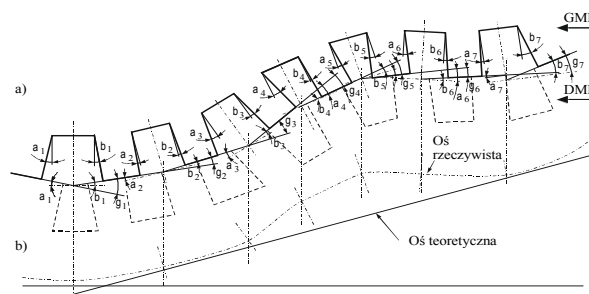
Prawidłowość ta występuje niezależnie od tego, czy odchyłki dotyczą zmiany usytuowania osi tylko jednego czopa względem pozostałych, czy też wzajemnej niewspółosiowości całego zespołu czopów głównych. Analiza ta wykazała ponadto, że z uwagi na zmienną sztywność i nierównomierne rozmieszczenie środków ciężkości w kolejnych przekrojach poprzecznych występują nie tylko odkształcenia giętne wału, ale również skręcanie ramion wykorbień. Wyniki badań wykazały więc, że mierzony w danym położeniu kątowym wielkość rozchylenia ramion wykorbień nie można traktować jako wielkości usytuowanej w płaszczyźnie pionowej lub poziomej, lecz usytuowanej przestrzennie. Wniosek ten nabiera dodatkowego znaczenia, uwzględniając fakt, że badania symulacyjne przeprowadzono, przyjmując niedokładności łożyskowania usytuowane w płaszczyźnie pionowej. Wyniki badań wykazały natomiast odkształcenia ramion wykorbień zarówno w płaszczyźnie pionowej, jak i poziomej.

Zaproponowana metoda symetrycznego pomiaru ramion wykorbień eliminuje szereg wad stosowanej metody tradycyjnej [4]. Między innymi eliminuje najistotniejszą wadę tradycyjnej metody, jaką jest brak stałości bazy pomiarowej. Zastosowanie tej metody w warunkach eksploatacyjnych wymaga jednak demontażu stopy korbowa i podwieszenia układu korbowa-łokowego dla umożliwienia osadzenia

obejmy przyrządu mocowanego do czopa korbowego, co znacznie wydłuża pomiar.

Nowa koncepcja symetrycznego pomiaru odkształceń ramion wykorbień

Przyjmując że podstawa oceny wykonania jak i ułożenia wału w łożyskach głównych będą pomiary jego odkształceń, opracowany został układ pomiarowy, który bazując na tradycyjnym sposobie osadzenia przyrządu i pomiaru sprężynowania, umożliwi indywidualną ocenę odkształceń ramion wykorbień. Bazę pomiarową realizuje przyrząd osadzony – podobnie jak w metodzie tradycyjnej – kłami w nawierceniach, wykonanych przez producentów na wewnętrznej stronie ramion wykorbień. Ocena odkształceń odbywa się jednak w kierunku prostopadłym do tej bazy. Zapewniają to nasadki stanowiące zakończenie trzpieni, w które zaopatrzone jest przyrząd pomiarowy. Nasadki osadzone suwliwie na trzpieniach, dociskane są siłą o stałej wartości do wewnętrznych powierzchni czołowych ramion wykorbień. Miarą odkształceń, rejestrowanych w sposób ciągły, są zmiany obwodowych nacisków występujących na powierzchniach czołowych okładzin nasadek. Pomiar ten odbywa się więc w układzie symetrycznym, w warunkach odpowiadających metodzie tradycyjnej. Okładziny nasadek wykonane z materiału podatnego na odkształcenia sprężyste, zakończone są czułką membraną pomiaru nacisków powierzchniowych. Czujnik przemieszczeń podobnie jak w metodzie tradycyjnej umożliwia sumaryczny pomiar odkształceń ramion wykorbień. Połączenie proponowanego układu pomiarowego z pomiarem tradycyjnym umożliwia poprawną ocenę stanu łożyskowania wałów korbowych. Na podstawie dokonanych pomiarów można określić wzajemne usytuowanie osi poszczególnych czopów głównych sąsiadujących z danym wykorbieniem. Dla zaproponowanej koncepcji pomiarów opracowana została procedura interpretacji wyników, w myśl której tworząc łańcuch powiązanych ze sobą odkształconych wykorbień rys. 4, wyznaczyć można linię ugięcia wału oraz dokonać korekty ustawienia łożysk w celu wyeliminowania jego deformacji.



Rys. 4. Interpretacja geometryczna stanu deformacji wykorbień wału (a) oraz interpretacja geometryczna linii ugięcia wału (b)

LITERATURA

- Łukomski Z. „Technologia spalinych silników kolejowych i okrętowych”. Warszawa: WKiŁ, 1972.
- Piaseczny L. „Technologia naprawy okrętowych silników spalinych”. Gdańsk: WM, 1992.
- Nozdrzykowski K. „Testing of deformation of a piston energy converter crankshaft”. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 24, No. 5A (2015): pp. 43–49.
- Nozdrzykowski K., Grządziel Z. „Simulation test and measurements of crankshaft deformation by the symmetric method”. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*. No. 42 (114) (2015): pp. 33–37.
- www.iims.org.uk/engine-crankshaft-deflection-measurement-news-hound/.
- www.linkedin.com/diesel-engine-crankshaft-deflection-measurement-mahmoud-moghtaderi/.